

Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak

Nitrification and denitrification in pond

Yuni Puji Hastuti

Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

More of waste than pond aquaculture system produced, will increase sedimentation in the bottom. Ammonium and nitrite compounds are other forms of inorganic nitrogen in the pond. Nitrogen anorganic consist of ammonia, ammonium, nitrite, nitrate and nitrogen. Degradation of process metabolic biota culture waste can biologically be nitrate compound one of the forms that are not toxic in the nitrification process. Five process of nitrogen biogeochemical cycle in the container cultivation is the ammonification, nitrification, nitrogen assimilation, denitrification and nitrogen fixation. Nitrogen is the one of the compound in the overlay/top stratification sediment. Improvement of speed degradation will be success if the pond bottom on aerobic condition. Survival rate of tiger shrimp in the laboratory scale can be increase by administration of nitrification and denitrification bacteria should not just in the water column of pond engineering but also at the bottom pond layer at the preparation step. Depth of the sediment 15 cm in day zero, intensive pond have been produced of nitrite and ammonium with the producing bacteria. Application of nitrification and denitrification bacteria in the sediment and water column can be performed as the measurement and evaluation nitrite, nitrate and ammonium abundance.

Key words: ponds, nitrogen inorganic, nitrification, denitrification

ABSTRAK

Semakin banyak limbah kegiatan yang dihasilkan dalam sistem budidaya tambak, akan meningkatkan sedimentasi dalam dasar tambak. Senyawa amonium dan nitrit merupakan bentuk lain dari nitrogen anorganik dalam tambak. Nitrogen anorganik terdiri dari amonia (NH_3), amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), dan nitrogen (N_2). Secara biologis, proses perombakan sisa metabolisme biota budidaya dapat menjadi nitrat (NO_3^-), suatu bentuk yang tidak berbahaya dalam proses nitrifikasi. Lima proses siklus biogeokimia nitrogen yang terjadi di wadah budidaya adalah amonifikasi, nitrifikasi, asimilasi nitrogen, denitrifikasi, dan fiksasi nitrogen. Nitrogen merupakan senyawa yang biasanya terletak di lapisan paling atas dalam sedimen. Peningkatan kecepatan degradasi akan dapat dicapai jika sedimen berada dalam kondisi aerobik. Tingkat kelangsungan hidup udang pada uji skala laboratorium memperlihatkan bahwa penambahan bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi terseleksi dapat meningkatkan kelangsungan hidup udang windu. Aplikasi pemberian bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi tidak seharusnya hanya dalam air saja, namun juga dalam pengolahan tanah dasar tambak. Pada kedalaman sedimen 15 cm hari ke-0, tambak intensif telah terdapat bakteri penghasil nitrit dan amonium dan kelimpahannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur udang. Aplikasi pemberian bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi di sedimen dan kolom perairan dapat dilakukan seiring dengan pengukuran dan evaluasi kondisi nitrit, nitrat dan amoniumnya. Secara alami, dalam kolom perairan telah terdapat senyawa nitrit, nitrat dan amonium, seberapapun itu perlu diimbangi dengan kebijakan dalam pemberian bakteri dari luar.

Kata kunci: tambak, nitrogen anorganik, nitrifikasi, denitrifikasi

PENDAHULUAN

Sistem budidaya tambak merupakan salah satu manajemen pemeliharaan biota perikanan yang digunakan dalam kegiatan budidaya. Sistem budidaya yang berbeda, mampu memberikan pengaruh berbeda terhadap hasil interaksi budidaya dengan lingkungan. Semakin tinggi sisa kegiatan

yang digunakan dalam sistem tambak budidaya, akan menghasilkan sedimentasi dalam dasar tambak semakin meningkat. Berdasarkan berbagai kajian, sistem tambak budidaya di Indonesia tidak akan terlepas dari pengolahan tanah dan air sebagai komponen utama wadah budidaya. Dasar tambak merupakan salah satu bagian wadah budidaya yang sangat penting peranannya

dalam kegiatan budidaya. Setiap sistem diharapkan memiliki dasar tambak yang baik, artinya tidak hanya mampu menahan air, menerima sisa pakan maupun sisa metabolisme udang, namun juga mampu menyediakan berbagai unsur hara untuk makanan alami udang. Kemampuan tanah menyediakan berbagai unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan makanan alami dipengaruhi oleh kesuburan tambak dan ditentukan pula oleh komposisi kimiawi tanah dasar (Hidayanto *et al.*, 2004).

Senyawa yang tertampung dalam dasar tambak terdiri dari dua macam yaitu senyawa terlarut $<0,5 \mu\text{m}$ (larut dalam air) dan senyawa tidak terlarut yang berukuran $>0,5 \mu\text{m}$ yang akibatnya mampu terjadi pengendapan pada suatu titik tertentu dan akan terjadi akumulasi yang meningkat dengan cepat (Donovaro *et al.*, 1998). Pakan udang merupakan salah satu sumber bahan organik yang dapat mengganggu kestabilan lingkungan tambak karena sifatnya mudah larut, mengendap dan mengalami pembusukan. Jumlah pengendapan senyawa toksik yang dihasilkan tergantung dari masukan pakan pada sistem budidaya yang digunakan. Segi energetik menunjukkan pakan akan dimetabolisme dan digunakan udang untuk dua tujuan yaitu pemeliharaan (*maintenance*) dan pertumbuhan, selebihnya akan menghasilkan sisa pakan dan sisa metabolisme. Oleh karena itu pakan yang diberikan harus memenuhi syarat dari nilai gizinya maupun daya larut dalam air tambak sehingga pakan tidak terbuang sia-sia, supaya kepadatan udang harus bersinergis dengan jumlah pakan yang diberikan.

Salah satu yang berpengaruh pada jumlah pakan dan kepadatan biota budidaya dalam wadah budidaya adalah sistem budidaya yang dipergunakan. Semakin intensif sistem budidaya yang dipergunakan, semakin banyak kelimpahan biota dan masukan pakan yang diberikan. Hal ini akan berpengaruh terhadap jumlah sisa metabolisme dan sisa pakan yang terendap dalam dasar tambak. Tiga macam sistem budidaya yang sering digunakan adalah tradisional, semi intensif dan intensif (Takarina dan Suyanto, 2009).

Perlakuan dan penggunaan benur yang sama pada tambak belum tentu mampu

menghasilkan tonase/ukuran biota produk panen yang sama. Banyak faktor yang berpengaruh terhadap keberhasilan kegiatan bertambak. Di antaranya, dekomposisi dan pertukaran nutrien dalam tambak belum tentu dapat mencapai tingkat sempurna. Manajemen kualitas air dianggap sebagai salah satu faktor budidaya paling penting, tetapi banyak bukti bahwa kondisi dasar tambak dan pertukaran substansi antara tanah dan air sangat berpengaruh terhadap kualitas airnya (Boyd, 1995).

Manajemen dasar tambak dan kolom perairannya dijadikan sebagai salah satu faktor penting yang harus dijaga dan diperhatikan keseimbangannya. Produktivitas dasar dan kolom perairan tambak tidak akan terlepas dari oksigen, hasil limbah organik dan anorganik yang dihasilkan dalam tambak, kapasitas tukar kation (KTK) tanah yang terdapat pada tanah, pH tanah, nutrien alami yang terdapat dalam dasar dan kolom perairan serta mikroorganisme yang membantu terjadinya reaksi nitrifikasi dan denitrifikasi.

Lapisan oksigen pada permukaan sedimen sangat menguntungkan dan selanjutnya dijaga selama siklus budidaya. Produk metabolisme dari dekomposisi aerobik antara lain karbondioksida, air, amonia serta nutrien yang lain. Pada sedimen yang bersifat anaerobik, beberapa mikroorganisme menguraikan bahan organik dengan reaksi fermentasi yang mampu menghasilkan alkohol, keton dan senyawa organik lainnya. Blackburn (1987) mengemukakan bahwa mikroorganisme juga dapat menggunakan O_2 dari nitrat, nitrit, besi dan mangan oksida, sulfat dan karbondioksida untuk menguraikan material organik, tetapi mereka mampu mengeluarkan gas nitrogen, amonia, ferrous, manganous manganese, hidrogen sulfida dan metan sebagai metabolisme. Berbagai hasil metabolisme tersebut khususnya H_2S , nitrit dan senyawa organik tertentu dapat masuk ke air dan berpotensi racun bagi ikan atau udang. Berdasarkan kondisi yang relatif masih terdapat oksigen, hasil metabolisme tersebut dapat dirombak menjadi senyawa yang relatif sederhana.

Kondisi aerobik yang dilengkapi dengan kelimpahan bakteri nitrifikasi (bakteri yang membantu proses perombakan amonia menjadi nitrit dan nitrat) yang cukup akan menghasilkan lingkungan perairan yang kondusif dan relatif aman dari bahan-bahan pencemar. Lapisan oksigen pada permukaan dasar tambak sering disampaikan dapat mencegah sebagian besar metabolisme yang beracun ke dalam air tambak karena mereka dioksidasi menjadi bentuk yang tidak beracun melalui aktivitas biologi ketika melewati lapisan aerobik. Nitrit akan dioksidasi menjadi nitrat, ferro diubah menjadi ferri dan hidrogen sulfida (H_2S) diubah menjadi sulfat. Karena itu sangat penting menjaga lapisan/strata wadah agar oksidasi masih dapat terjadi secara merata, baik pada permukaan sedimen/tanah tambak budidaya maupun kolom perairannya.

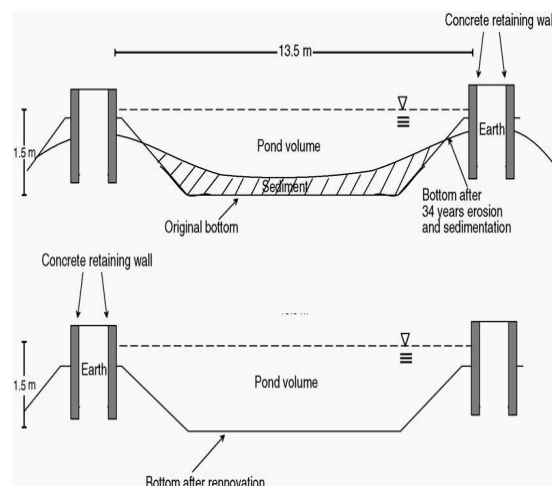
Pada saat tanah sebagai dasar wadah budidaya telah terakumulasi bahan organik dalam jumlah besar dan oksigen terlarut habis digunakan sebelum masuk ke bagian permukaan tanah, maka akan terjadi kehilangan lapisan oksidasi. Bahkan dalam tambak yang di dalamnya konsentrasi bahan organik relatif rendah, juga akan menyebabkan penurunan oksigen dasar tambak. Kondisi ini akan semakin parah, ketika dalam tambak kondisi oksigen terlarut tidak stabil dan ditambah dengan semakin tingginya kelimpahan bakteri penghasil racun. Hastuti (2010) menyampaikan bahwa dalam tambak tradisional yang minim pakan tambahan dan rendah populasi biota budidaya, pada hari ke-0 (tahap persiapan) dan kedalaman 15 cm (15 cm dari permukaan dasar tambak) memiliki kelimpahan bakteri penghasil nitrit dan amonium yang sama dengan kelimpahan bakteri di tambak semiintensif dan intensif. Pengelolaan dasar tambak sangat perlu diperhatikan khususnya pada saat pengolahan awal/persiapannya. Tahap persiapan tambak perlu dilakukan pengerukan sedimen 5 cm dari permukaan tanah supaya semua racun yang terakumulasi di dasar tambak dapat dikupas (Boyd dan Sonnenholzner, 2000). Usaha untuk menetralkan kondisi tambak sebelum melakukan kegiatan budidaya memang mutlak diperlukan, diharapkan hasil metabolisme (yang bersifat

racun) yang masuk ke dalam air tambak dapat teroksidasi dengan cepat, sehingga tingkat keseimbangan metabolisme di dalam air akan cukup tinggi (Gambar 1).

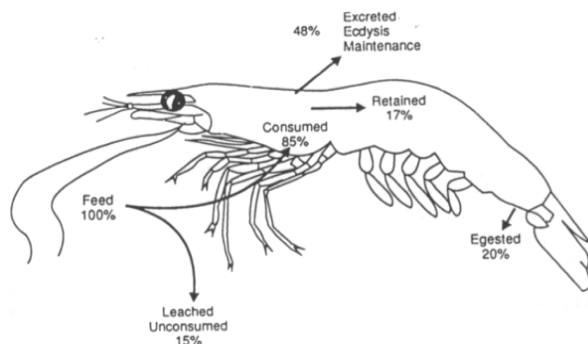
Unsur nitrogen dalam tambak

Senyawa amonium dan nitrit merupakan bentuk lain dari nitrogen anorganik. Effendi (2003) menyatakan bahwa nitrogen anorganik terdiri dari amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2^-), dan nitrogen (N_2). Penambahan nitrogen sebagai salah satu nutrisi pembatas utama dalam tingkat produsen primer di estuari selain fosfat dan silikat dipengaruhi oleh kegiatan manusia (Kennish, 1994). Pemberian pakan buatan dalam sistem tambak dapat mengubah kondisi normal senyawa nitrogen di alam. Sumber utama amoniak sebagai salah satu bentuk nitrogen anorganik dalam air tambak adalah hasil perombakan bahan organik, sedangkan sumber bahan organik utama dalam tambak adalah degradasi sisa pakan dan sisa metabolisme udang. Sebagian besar pakan yang diberikan akan dimanfaatkan untuk pertumbuhan, namun sebagian lagi akan diekskresikan dalam bentuk kotoran padat dan amonia terlarut (NH_3) dalam air (Gambar 2).

Sisa metabolisme udang juga bisa mengalami perombakan menjadi NH_3 dalam bentuk gas. Secara biologis, proses ini tidak hanya berhenti sampai di sini, di alam amonia akan mengalami perombakan menjadi nitrat (NO_3) suatu bentuk yang tidak berbahaya dalam proses nitrifikasi.



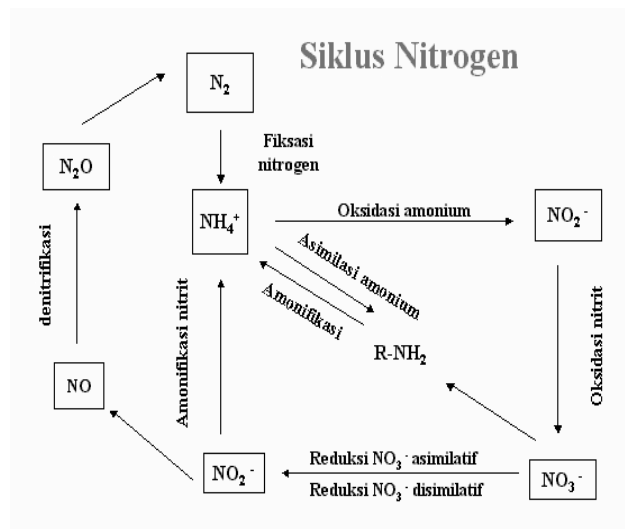
Gambar 1. Renovasi dasar tambak untuk menghilangkan sedimen (Boyd, 1984).



Gambar 2. Estimasi pemanfaatan pakan tambahan oleh udang windu dalam sistem budidaya intensif (Primavera, 1994).

Lima proses siklus biogeokimia nitrogen adalah amonifikasi, nitrifikasi, asimilasi nitrogen, denitrifikasi, dan fiksasi nitrogen. Amonifikasi merupakan proses pembentukan amonia dari materi organik. Amonia juga mampu mengalami asimilasi menjadi asam amino dan dapat diasimilasi secara langsung oleh kelompok diatom, alga selular dan tanaman tingkat tinggi. Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi yaitu proses pembentukan nitrit atau nitrat dari amonia. Proses ini dapat berlangsung secara biologis maupun kimia. Asimilasi nitrogen merupakan proses pemanfaatan nitrogen untuk pembentukan asam amino dalam protoplasma oleh fitoplankton, alga, dan bakteri. Senyawa amonium dan nitrit merupakan bagian penting dari siklus nitrogen di alam (Gambar 3). Denitrifikasi merupakan reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit, nitrit oksida, dan gas nitrogen. Sedangkan fiksasi nitrogen merupakan pengikatan gas nitrogen menjadi amonia dan nitrogen organik (Dong *et al.*, 2004). Proses ini dapat terjadi di daerah tambak yang masih dalam area pantai sehingga bisa melibatkan simbiosis alga dan bakteri (Effendi, 2003).

Tambak udang sebagai salah satu bentuk ekosistem kecil daerah estuari, memiliki nitrogen anorganik utama yang dapat terlarut dalam air, yaitu amonia, amonium, nitrit, dan nitrat. Komposisi nitrogen anorganik sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen bebas dalam air. Konsentrasi oksigen yang rendah menyebabkan nitrogen akan bergerak menuju ke senyawa amonia, sedangkan konsentrasi oksigen tertinggi menyebabkan nitrogen akan bergerak menuju senyawa nitrat (Hutagalung dan Rozak, 1997).



Gambar 3. Siklus nitrogen (Sitaresmi, 2002)

Pada siklus biogeokimia terdapat oksidasi dan reduksi senyawa nitrogen anorganik yang satu menjadi senyawa nitrogen anorganik lain. Konsentrasi senyawa amonium dan nitrit dalam sedimen maupun perairan dipengaruhi oleh proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Rusmana (2003b) menyampaikan bahwa terdapat tiga proses reduksi nitrat disimilatif pada bakteri yaitu: denitrifikasi, reduksi nitrat menjadi amonium, dan oksidasi amonium disimilatif (*anaerob ammonia oxidation*, anammox). Proses denitrifikasi bakteri menggunakan senyawa nitrat sebagai penerima elektron terakhir untuk memperoleh energi pada kondisi oksigen rendah atau anaerob (Zumft, 1997; Richardson, 2000; Richardson *et al.*, 2001). Sedangkan nitrit juga bisa berperan sebagai akseptor elektron dalam prosesnya menjadi gas nitrogen. Proses metabolisme mampu membentuk senyawa antara hidroksil amin dan hidrazin (Jetten *et al.*, 2001).

Tanah dasar dan air kolom dalam tambak

Nutrien yang dianggap penting dalam tambak diantaranya adalah nitrogen dan fosfat, karena kadar kedua nutrisi ini sering hadir dalam jumlah terbatas. Nitrogen dan fosfat dimasukkan ke dalam tambak dalam bentuk pupuk dan pakan. Pupuk nitrogen biasanya dalam bentuk urea dan amonium. Urea secara cepat dapat terhidrolisa menjadi amonium dalam air tambak. Amonium akan diadsorpsi oleh fitoplankton, terjadi reaksi menjadi nitrogen organik dan akhirnya

ditrans-fornasikan ke dalam nitrogen protein ikan. Selanjutnya, amonium akan dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi dan nitrat. Amonium ini digunakan oleh fitoplankton atau mengalami denitrifikasi oleh mikroorganisme anaerobik dalam sedimen. Gas nitrogen yang terbentuk pada proses denitrifikasi, terdifusi dari sedimen ke air tambak kemudian ke atmosfer. Amonium berada dalam kesetimbangan dengan amonia. Amonia juga dapat terdifusi dari air tambak ke atmosfer dalam bentuk gas. Sejumlah kecil amonium akan diabsorpsi oleh kation tanah dasar tambak dan terakumulasi di dalamnya. Sebaliknya, amonium dalam partikel tanah dasar dapat terdifusi ke dalam kolom perairan dalam bentuk amonium atau bahkan nitrit dan nitrat apabila proses nitrifikasi berlangsung cepat. Nitrogen organik dalam plankton dan kotoran hewan air akan berada di dasar dan menjadi nitrogen organik tanah. Nitrogen dalam material organik tanah akan di-mineralisasi ke amonia dan kembali ke air tambak.

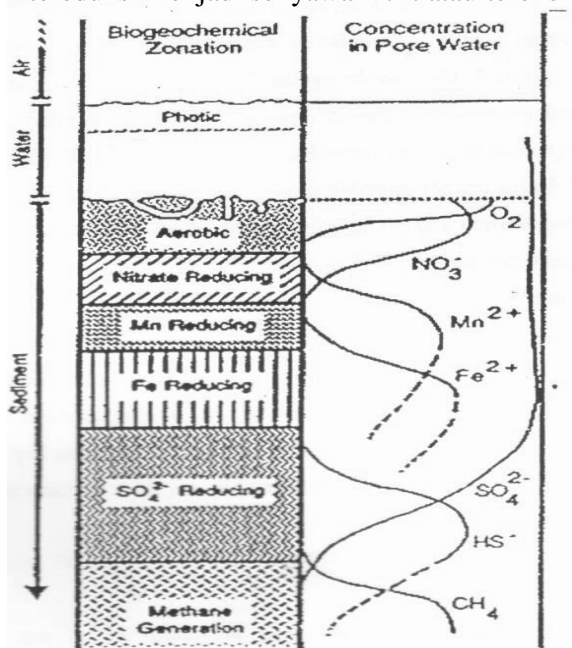
Selain nitrogen, fosfor sebagai komponen utama dalam pupuk juga berperan sebagai penyumbang limbah organik dalam tambak. Fosfor berada dalam pupuk sebagai kalsium atau amonium fosfat. Fitoplankton dapat merubah dengan cepat fosfat dari air, selanjutnya fitoplankton akan masuk ke jaringan makanan pada ikan atau udang. Tanah tambak secara kuat akan menyerap fosfat dan kapasitas tambak untuk menyerap fosfat meningkat dengan naiknya kandungan liat (Boyd dan Munsiri, 1996). Sekitar 2/3 fosfat yang telah diaplikasikan ke tambak dalam makanan terakumulasi di tanah dasar (Masuda dan Boyd, 1994). Sebagian besar fosfat tanah terikat secara kuat dan hanya dalam jumlah kecil yang terlarut dalam air. Tanah tambak bukan merupakan sumber utama fosfor yang terdapat dalam air, fosfor yang terabsorpsi dalam tanah cenderung bersifat tidak larut (Boyd dan Munsiri, 1996). Material organik dalam tambak secara cepat diabsorpsi oleh tanah dan sedikit yang masuk ke air. Tanah yang mempunyai pH hampir netral mempunyai kapasitas lebih kecil mengabsorpsi fosfor dan mempunyai kecenderungan lebih besar mengeluarkan fosfor dibanding tanah asam atau basa (Boyd,

1995). Selain itu, partikel tanah merupakan partikel yang merupakan susunan lapisan-lapisan horizon yang memiliki kapasitas KTK ion positif dan negatif yang mampu mengikat senyawa-senyawa kimia lainnya di sekitarnya. Hastuti *et al.*, 2010) menyampaikan, dalam tambak semi intensif amonium dalam air pori sedimen, diduga sebanyak 1,85% terlepas ke kolom air berbentuk amonium dan 37,64% terlepas dalam bentuk nitrit. Dalam sedimen kandungan nitrat sangat rendah bahkan cenderung tidak ada. Reduksi nitrat menjadi nitrit melibatkan empat tahapan reaksi yang dikatalis oleh enzim. Enzim yang dapat mengkatalis reaksi tahap nitrat menjadi nitrit adalah *periplasmic nitrate reductase* (Nap) dan *membrane bound nitrate reductase* (Nar). Selanjutnya reduksi nitrit menjadi nitrit oksida (NO₂) adalah *cytochrome cd nitrite reductase* (NirS) dan *copper nitrite reductase* (NirK). Kemudian dilanjutkan dengan katalis oleh enzim *nitric oxide reductase* (Nor) dan *nitrous oxide reductase* (Nos) (Rusmana 2003c). Proses nitrifikasi merupakan proses oksidasi yang sangat tergantung pada ketersediaan oksigen (Sinha *et al.*, 2007). Dekomposisi suatu bahan organik sangat berkaitan dengan kelimpahan mikroorganisme (Bostrom dan Pettersson, 2003). Respirasi dan degradasi bahan organik serta pemberian aerasi yang tidak merata akan meningkatkan akumulasi senyawa toksik sedimen (Steeby, 2004 a,b,c; Yuvanatemia dan Boyd, 2006). Pertumbuhan bakteri pada kondisi anaerob sebagai salah satu bentuk reduksi nitrat menjadi amonia disimilatif (Cole, 1996).

Nitrogen merupakan senyawa yang biasanya terletak di lapisan paling atas dalam sedimen. Peningkatan kecepatan degradasi akan dapat dicapai, jika sedimen berada dalam kondisi aerobik. Hal ini berhubungan dengan tekanan dan masukan oksigen yang bisa mencapai dasar. Kirchman (2003) menyampaikan bahwa laju akumulasi dan jenis material ke sistem sedimen berpengaruh signifikan terhadap ketebalan kimia dan biologi setiap strata sedimen (Gambar 4).

Senyawa kimia dalam strata sedimen, terlihat bahwa lapisan atas sedimen masih mengandung oksigen, sedangkan di sekitar-

nya terdapat kandungan nitrat yang bisa tereduksi menjadi senyawa nitrit atau teroksi-



Gambar 4. Senyawa kimia dalam setiap strata sedimen (Rheinheimer, 1977)

dasi menjadi amonium. Semakin dalam strata sedimen, semakin berbeda konsentrasi senyawa kimia yang tersimpan dalam air pori sedimen. Rheinheimer (1977) bahwa menyampaikan, lapisan 0-5 cm dalam sedimen akuatik masih tersimpan kandungan oksigen. Sedangkan lapisan 5-200 cm sudah tidak mengandung oksigen, sehingga bakteri yang mendominasi adalah penghasil metan, sulfat maupun besi. Pada lapisan 5-200 cm, walaupun terdapat oksidasi bukan karena adanya oksigen melainkan karena adanya oksidasi amonia secara anaerob dan memanfaatkan nitrat dan nitrit sebagai akseptor elektron (Rheinheimer, 1977). Kondisi berbeda terjadi pada daerah hutan bakau dengan kenyataan bahwa daerah hutan bakau memiliki fisika, kimia, dan biologi yang sama sampai kedalaman 30 cm (Ferreira *et al.*, 2005).

Jumlah senyawa kimia dalam tambak tidak terlepas dari peran aktivitas bakterinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi dekomposisi bahan organik adalah suhu, kelembaban, tata udara tanah, pengolahan dan pH. Perairan akuatik, kondisi fisika kimia dengan komposisi komunitas hidup (mikroflora) berbeda. Bagian subterania (air bawah), lebih

cenderung miskin nutrisi sehingga menyebabkan perbedaan kelimpahan dan jenis mikroflora dengan bagian permukaan air (Rheinheimer, 1977).

Kualitas sedimen pada tambak menjadi semakin berkurang ketika penggunaan antibiotik dan pestisida secara berlebihan. Penggunaan bahan-bahan kimia akan berpengaruh terhadap kualitas sedimen karena sifat kimianya yang tidak dapat didegradasi secara mudah. Kondisi ini akan menghasilkan residu bahan kimia yang mengakibatkan siklus kimia normal sedimen dan air tambak menjadi terganggu. Residu ini akan mengakibatkan tingginya kandungan bahan nitrogen anorganik. Dampak langsungnya adalah amonia, nitrit, nitrat, H_2S , dan senyawa karbon bersifat toksik pada sistem tambak udang. Hal ini menyebabkan keseimbangan ekologis mikroorganisme di dalam tambak sudah tidak normal lagi (Hidayanto *et al.*, 2004).

Nilai asam atau basa sedimen tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam tanah tersebut. Cara mengubah pH sedimen tanah masam adalah pemberian kapur, sedangkan pH sedimen tanah alkalis dapat diturunkan dengan belerang. Nilai pH dipengaruhi oleh faktor fisik sedimen, berkaitan dengan konsentrasi bahan-bahan organik yang ada di sedimen. Semakin kecil ukuran butiran sedimen, pH semakin rendah (asam), demikian juga sebaliknya (Alongi, 1998). Perubahan nilai pH dalam sedimen mempengaruhi sebaran mikroorganisme yang metabolismenya tergantung pada sebaran faktor-faktor kimia tersebut (Odum, 1994). Sebagian besar mikroorganisme sangat peka terhadap perubahan nilai pH dalam perairan. Nilai pH akan mempengaruhi proses-proses biokimia perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah (Effendi, 2003).

Nitrifikasi dan denitrifikasi serta bakteri yang berperan

Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi, yaitu proses pembentukan nitrit atau nitrat dari amonia. Proses nitrifikasi, melibatkan bakteri pengoksidasi amonia yang bersifat autotrofik, yaitu kelompok bakteri yang terutama berperan dalam proses oksidasi

amonia menjadi nitrit pada siklus nitrogen, juga pada proses penguraian nitrogen dalam sistem pengolahan limbah cair. Bakteri autotrofik yang berperan dalam oksidasi amonia menjadi nitrit adalah *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, dan *Nitrosovibrio*. Beberapa mikroorganisme yang bersifat heterotrofik juga dilaporkan mampu mengoksidasi dan melakukan nitrifikasi (Agustiyan *et al.*, 2004). Selain bakteri autotrofik, bakteri heterotrofik juga mampu mengoksidasi amonia atau nitrogen organik menjadi nitrit atau nitrat (Sylvia *et al.*, 1990).

Mikroorganisme yang termasuk dalam golongan bakteri heterotrofik antara lain adalah: fungi (*Aspergillus*) dan bakteri (*Alcaligenes*, *Arthrobacter* spp., dan *Actinomyces*). Menurut Alexander (1977), *Arthrobacter* dan *Aspergillus flavus* mampu menghasilkan nitrat dalam media yang mengandung amonia sebagai sumber nitrogen. Yang membedakan di antara keduanya adalah sumber karbon yang digunakan. Bakteri autotrofik menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon, sedangkan bakteri heterotrofik menggunakan senyawa organik, seperti asetat, piruvat, dan oksaloasetat sebagai sumber karbon. Laju pertumbuhan bakteri yang bersifat autotrofik lebih lambat dibandingkan dengan bakteri heterotrofik. Dalam nitrifikasi, amonia akan berinteraksi dengan oksigen dan menghasilkan nitrit, kemudian berinteraksi dengan bakteri jenis lain dan berubah menjadi nitrat, senyawa yang lebih aman (Cheremisinof, 1996).

Denitrifikasi merupakan proses utama pendegradasi senyawa nitrogen dalam kondisi tidak ada oksigen atau anaerob. Proses denitrifikasi mampu menghasilkan produk samping berupa N₂O yang termasuk dalam gas rumah kaca. Gas ini mampu memberikan kondisi pemanasan bumi dan kerusakan lapisan ozon di atmosfer (Cicerone, 1989). Denitrifikasi merupakan konversi biologis senyawa nitrat (NO₃⁻) menjadi nitrit (NO₂⁻), nitrous oksida (N₂O) dan molekul nitrogen (N₂). Proses denitrifikasi dijalankan secara teratur dan bertahap oleh beberapa bakteri fakultatif anaerob (Pinar *et al.*, 1997). Namun demikian

dengan pemanfaatan bakteri tertentu dalam proses denitrifikasi dapat mengurangi produksi gas N₂O yang terdapat di wilayah estuari, contohnya wilayah tambak.

Bakteri denitrifikasi mampu memanfaatkan nitrat sebagai penerima elektron terakhir untuk memperoleh energi pada kondisi oksigen terbatas atau anaerob. Secara taksonomi dan ekologi, bakteri denitrifikasi tersebar dalam kelompok bakteri anaerob fakultatif dan anaerob obligat. Bakteri yang berperan dalam proses denitrifikasi termasuk dalam bakteri yang heterotrofik. Bakteri yang hidup dalam lingkungan estuari antara lain *Alteromonas*, *Pseudomonas*, *Erythrobacter*, *Alcaligenes*, dan *Aquaspirillum* (Zumft, 1992). Bakteri denitrifikasi lebih kompetitif apabila hidup dalam lingkungan dengan kadar oksigen yang rendah, tetapi terdapat juga beberapa proses denitrifikasi yang berlangsung secara aerobik (Zumft, 1992). Hal ini berkaitan dengan adanya sistem regulator sensor mikroorganisme anaerob fakultatif. Bakteri memiliki kemampuan beradaptasi dari aerob ke kondisi anaerob, demikian pula sebaliknya. *Serratia liquifaciens* merupakan salah satu bakteri sedimen estuari yang termasuk dalam bakteri denitrifikasi fakultatif, bersifat kompetitif pada suhu rendah (5-10)°C, dan produksi gas N₂O lebih rendah dari suhu 20°C (Rusmana, 2003a).

Berdasarkan sumber karbonnya, bakteri denitrifikasi bersifat heterotrof yang memerlukan karbon organik seperti asam asetat, gliserol, dan glukosa untuk pertumbuhannya (Teixera dan Olivera, 2002). Karbon dibutuhkan sebagai donor elektron dalam kondisi yang rendah oksigen atau anaerob. Perbandingan antara sumber karbon sebagai donor elektron dan nitrat sebagai aseptor elektron sangat penting. Keberadaan sumber karbon sangat mempengaruhi bakteri-bakteri dalam melakukan proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Ketika kondisi perairan atau sedimen tambak kaya nitrat, namun miskin sumber karbon, maka dominasi aktivitas kelompok bakteri denitrifikasi akan terlihat. Sebaliknya, jika pada perairan dan sedimen sumber karbon tinggi maka bakteri fermentatif akan lebih dominan. Kemampuan bakteri dalam memanfaatkan berbagai

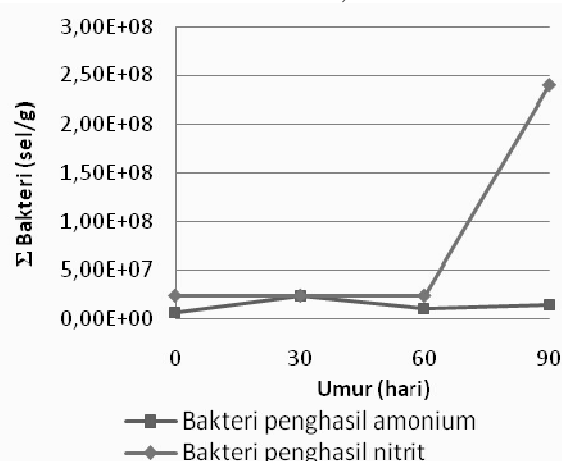
sumber karbon yang tersedia sangat berpengaruh terhadap kemampuan bakteri tersebut bertahan hidup dalam lingkungannya. Zumft (1997) menyatakan bahwa senyawa nitrit dapat terakumulasi sebagai hasil proses denitrifikasi sebagai akibat reduksi nitrat menjadi nitrit.

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri pengoksidasi amonia (Esoy *et al.*, 1998). Derajat keasaman (pH) optimum untuk pertumbuhan bakteri pengoksidasi amonia yang bersifat autotrofik berkisar antara 7,5 dan 8,5 (Ratledge, 1994). Sedangkan bakteri yang bersifat heterotrofik lebih toleran pada lingkungan asam, dan tumbuh lebih cepat dengan hasil yang lebih tinggi pada kondisi dengan konsentrasi oksigen terlarut rendah (Zhao *et al.*, 1999).

Salah satu bahan yang digunakan untuk agen bioremediasi ini yaitu jenis mikroorganisme seperti bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp.) dan bakteri denitrifikasi (Devaraja *et al.*, 2002). Pemberian bakteri nitrifikasi mampu meningkatkan kemampuan oksidasi dalam tambak, demikian sebaliknya jika proses nitrifikasi berlangsung terlalu tinggi maka dapat mencapai kondisi yang tidak diinginkan sehingga perlu diseimbangkan dengan pemberian bakteri denitrifikasi untuk reduksi. Konsentrasi nitrat yang tinggi dapat menyebabkan kasus *Nitrate Toxicity* sehingga perlu dilakukan reduksi oleh bakteri denitrifikasi menjadi gas nitrogen (N₂). Penambahan inokulan bakteri tersebut juga dapat menurunkan kandungan senyawa nitrit pada perairan.

Tingkat kelangsungan hidup udang pada uji skala laboratorium memperlihatkan bahwa penambahan bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi terseleksi dapat meningkatkan kelangsungan hidup udang windu sampai 78% dibandingkan dengan pada perlakuan kontrol sebesar 58% (Rusmana dan Widiyanto, 2006). Aplikasi pemberian bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi tidak seharusnya hanya dalam air saja, namun dalam pengolahan tanah dasar tambak sebagai penampung sedimen dan hasil akhir sisa metabolisme budidaya juga perlu diberi

bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi. Pada kedalaman 15 cm hari ke-0, tambak intensif



Gambar 5. Peningkatan kelimpahan bakteri penghasil nitrit dan amonium seiring dengan bertambahnya umur udang (Hastuti, 2010).

telah terdapat bakteri nitrifikais dan denitrifikasi dan kelimpahannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur udang (Hastuti *et al.*, 2010) (Gambar 5)

Aplikasi pemberian bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi di sedimen dan kolom perairan dapat dilakukan dengan pengukuran dan evaluasi kondisi nitrit, nitrat dan amonium dalam kolom air dan sedimen. Berdasarkan ilmu yang berkembang, telah banyak ditemukan berbagai karakteristik bakteri yang berasal dari tambak. Harapannya, dengan memanfaatkan bakteri atau mikroorganisme dari tambak sifat “*environmentalisme*” dari suatu mikro-organisme lebih tinggi. Ketika hasil isolasi dari tambak dimasukkan atau disebar ke tambak kembali, maka kemampuan bertahan dari organisme tersebut lebih tinggi. Rusmana *et al.* (2006) telah memanfaatkan bakteri pereduksi nitrat disimilatif sebagai agen bioremediator pengontrol kadar amonia dan nitrit di tambak, yang sebelumnya Feliatra (1999) juga telah meneliti berbagai macam karakteristik bakteri yang diisolasi langsung dari tambak.

KESIMPULAN

Semakin bertambah umur udang, semakin banyak sisa metabolisme serta limbah yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan semakin tingginya tingkat sedimentasi dalam tambak. Pemanfaatan bakteri untuk memperlancar

nitrifikasi dan denitrifikasi dapat dijadikan sebagai pilihan dasar dalam perombakan nitrogen dalam lingkungan budidaya tambak dari aspek biologinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyani, D., Imamuddin, H., Faridah, E.N., Oedjijono, 2004. Pengaruh pH dan substrat organik terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri pengoksidasi amonia. LIPI-Bogor. Biodiversitas 5 (2), 43–47.
- Alexander, M., 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd edition. Toronto: John Wiley and Sons.
- Alongi, D.M., 1998. Coastal Ecosystem Process. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Bostrom, B., Pettersson, K., 2003. Different pattern of phosphorus release from lake sediments in laboratory experiments. Hydrobiologia 92, 415–429.
- Boyd, C.E., Sonnenholzner, S., 2000. Chemical and physical properties of shrimp pond bottom soils in Ecuador. Journal of the World Aquaculture Society 31 (3), 358–375.
- Boyd, C.E., Munsiri, 1996. Texture and chemical composition of soils from shrimp ponds near Choluteca, Honduras. Aquaculture International 4 (2), 157–168.
- Boyd, C.E., 1995. Chemistry and efficacy of amendments used to treat water and soil quality imbalances in shrimp penaeids In Proceeding of the Aquaculture'95. World Aquaculture Society, San Diego, California
- Boyd, C.E., Munsiri, P., Hajek, B.F., 1994. Composition of sediment from intensive shrimp ponds in Thailand. World Aquac. 25, 53–55.
- Cheremisinoff, N.P., 1996. Biotechnology for Waste and Wastewater Treatment. Noyes Publications. Westwood. New Jersey 07675. ISBN. 0-8155-1409-3.
- Cicerone, R., 1989. Analysis of sources and sink of atmospheric nitrous oxide (N₂O). J. Geophysical Res. 94, 18265–18271.
- Cole, J., 1996. Nitrate reduction by enteric bacteria: redundancy or strategy for survival during oxygen starvation. FEMS Microbiol. 138, 1–18
- Danovaro, Rosa, T.L., Mazolla, A., 2001. Differential responses of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal Sediments. Environmental Pollution 112 (3), 427–434.
- Devaraja, T.N., Yusoff, F.M., Shariff, M., 2002. Changes in bacterial populations and shrimp production in ponds treated with commercial microbial product. Aquaculture 206, 245–256.
- Dong, L.F., Nedwell, D.B., Underwood, G.J.C., Thornton, D.C.O., Rusmana, I., 2002. Nitrous oxide formation in the colne estuary. England: the central role of nitrite. Applied Environmental Microbiology 68, 1240–1249.
- Effendi, H., 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: penerbit Kanisius.
- Esøy, A., Odegaard, H., Bentzen, G., 1998. The effect of sulphide and organic matter on the nitrification activity in biofilm process. Water Science Technology 37(1), 115–122.
- Feliatra. 1999. Identifikasi bakteri patogen (*Vibrio* sp) di Perairan Nongsa Batam Provinsi Riau. Jurnal Natur Indonesia II (1).
- Ferreira, T.O., Torrado, R.V., Otero, X.L., Macias, F., 2005. Are mangrove forest substrates sediments or soil? A case study in Southeastern Brazil. Catena 70, 79–91.
- Hidayanto, Heru, W., Yossita, F., 2004. Analisis tanah tambak sebagai indikator tingkat kesuburan tambak. Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian 7(2), 180–186.
- Hutagalung, H.P., Rozak, 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. Jakarta. P3O-LIPI.
- Jetten, M.S.M., Wagner, M., Fuerst, J., Van Loosdrecht, M., Kuenen, G., Strous, M., 2001. Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) Process. Curr. Opin. Biotech. 12, 283–288.
- Kennish, M.J., 1990. Ecology of Estuaries. Boca Radon. Florida. CRC Press.
- Kirchman, D.L., 2003. Uptake and Regeneration of Inorganic Nutrients by Marine Heterotrophic Bacteria. Di dalam: Kirchman D.L. Editor. Microbial Ecology

- of The Oceans. Canada: A John Wiley & Sons Inc. Publication.
- Odum, E.P., 1994. *Dasar-dasar Ekologi*. Edisi Ke-3. Samingan T, Penerjemah: Jogjakarta. Gadjah Mada Univ. Press.
- Pinar, Guadalupe, Duque, E., Haidour, A., Olivia, J.M., Luis, Sanchez-Barbero., Victor, Calvo., Ramos, J.L., 1997. Removal of high concentrations of nitrate from industrial wastewater by bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 63, 2071–2073.
- Primavera, J.H. 1994. Shrimp Farming in the Asia-Pacific: environment and trade issues and regional cooperation. In: *Trade and Environment: Prospects for Regional Cooperation*, pp. 161-186. Nautilus Institute, Berkeley, CA.
- Ratledge, C., 1994. *Biochemistry of Microbial Degradation*. Amsterdam: Kluwer Academic Publisher.
- Rheinheimer, G. (Ed)., 1977. *Microbial Ecology of a Brackish Water Environment*. *Ecologi. Stud.*25. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. Xii+ 288p.
- Richardson, D.J. 2000. Bacterial respiration: a flexible process for a changing environment. *Microbiology* 146, 551–571.
- Richardson, D.J., Berk, B.C., Ressel, D.A., Spiro, S., Taylor, C.J. 2001. Functional biochemical and genetic diversity of procaryotic nitrate reductase. *Cell. Mol. Lif.* 58, 165–178.
- Rusmana, I., Widiyanto, T. 2006. *Pemanfaatan Bakteri Pereduksi Nitrat Disimilatif dan Nitrifikasi Sebagai Agens Bio-remediasi untuk Mengontrol Kadar Amonia dan Nitrit di Tambak Udang*. Ipb.ac.id
- Rusmana, I. 2003a. *Physiology of Nitrous Oxide Production in Estuarine Dissimilative Nitrate Reducing Bacteria* [Thesis]. Departement of Biology University of Essex Colchester.
- Rusmana, I. 2003b. *Reduksi nitrat disimilatif pada bakteri: isu lingkungan dan penerapannya*. Hayati, 158–160.
- Rusmana, I. 2003c. Nitrous oxide formation in bacteria (komunikasi singkat). *J. Mikrobiologi Indonesia*, 158–160.
- Secru (Scottish Executive Central Research Unit) 2002. *Review and Synthesis of the Environmental Impact Aquaculture*. Technical Report. St Andrews House, Edinburgh EH1 3DG.
- Sinha, B., Ajit, P., Annachhatre. 2007. Partial nitrification operational parameters and microorganism involved. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 6, 285–313.
- Sitairesmi. 2002. *Mikrobiologi Lingkungan I*. Jakarta. Biologi FMIPA UI.
- Sylvia, D.M., Furbmann, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A., 1990. *Principles and Application of Soil Microbiology*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Takarina, E.P., Suyanto, S.R., 2009. *Panduan Budidaya Udang Windu*. Niaga Swadaya.
- Texeira, P., Oliveira, R. 2002. Metabolism of alcaligenes denitrificans in biofilm vs planctonic cells. *Journal of Applied Microbiology* 92, 256–260.
- Yuvanatemia, V., Boyd, C.E., 2006. Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. *Aquacultural Engineering*. 35, 199–205
- Zhao, H.W., Mavinic, D.S., Oldham, W.K., Koch, FA. 1999. Controlling factors for simultaneous nitrification and denitrification in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage. *Water Resources* 33 (4), 961–970.
- Zumft, W.G., 1992. The Denitrifying Prokaryotes, P. 554-582. In A. Balows, Truper H.G., Dworking M., Harder W., and Schleifer K.H. (ed.), *The Prokaryotes*. Springer Verlag, New York.
- Zumft, W.G., 1997. Cell biology and molecular basic of denitrification. *Microbiol and Mol Biol Rev.* 61, 533–616.